

氏名	おおしま いちろう 大嶋 一郎		
授与学位	博士(工学)		
学位授与年月日	平成15年3月24日		
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項		
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程)電子工学専攻		
学位論文題目	超高速・低消費電力LSI用MISFETに関する研究		
指導教官	東北大学教授 高橋 研		
論文審査委員	主査 東北大学教授 高橋 研 東北大学教授 坪内 和夫 東北大学教授 須川 成利 東北大学客員教授 大見 忠弘 (未来科学技術共同研究センター) 東北大学客員助教授 寺本 章伸 (未来科学技術共同研究センター)		

論文内容要旨

半導体集積回路を微細化し高性能化していく上で、トランジスタのゲート絶縁膜の薄膜化が求められている。現在 $0.13\mu\text{m}$ の微細化世代でゲートシリコン酸化膜の厚さは 2nm ままで薄膜化されているが、ゲートリーク電流を増加させずにさらにゲート絶縁膜を実効的に薄膜化していくためには信頼性が高く電気的特性に優れたシリコン酸化膜よりも誘電率の高い材料の開発が不可欠である。筆者は、マイクロ波励起高密度プラズマ装置を用いてシリコンを直接窒化しシリコン酸化膜に比べ約2倍の誘電率を有し酸化膜換算膜厚が 1nm を下回る高品質なシリコン窒化膜を形成する技術を確立した。本論文は、これらの研究成果を取りまとめたもので、前文第4章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、マイクロ波励起高密度プラズマ装置に各種希ガスとアンモニアの混合ガスを導入して温度(図1)、マイクロ波放射アンテナウェハ間距離(図2)、シリコンウェーハ表面終端水素の有無(図3, 4)などの成膜条件に関する系統的検討を行い、シリコン窒化膜の成膜機構および基本物性を明らかにしている。プラズマを励起する希ガスとしてはアルゴン(Ar)、クリプトン(Kr)、キセノン(Xe)の中で衝突断面積のもっとも大きいXeを使用することでイオン照射を抑制し高信頼性を有するシリコン窒化膜を形成できることを明らかにしている(図5, 6)。さらに希フッ酸洗浄後に形成されるシリコンウェーハ表面の終端水素層を希ガスプラズマにより除去してからシリコン窒化膜を形成することでシリコン窒化膜中に混入する水素量を低減することができ、より電氣的信頼性の優れた信頼性の高いシリコン

窒化膜を実現できることを見出している。さらにまたマイクロ波放射アンテナウェーハ間距離を離すことでシリコン基板表面に到達する窒化種 NH ラジカルの量を少なくし酸化膜換算膜厚 1nm 以下の薄いシリコン窒化膜を形成できる方法も明らかにしている(図 2)。これは次世代の微細化世代に対応可能なゲート絶縁膜を形成する上で極めて重要な成果である。

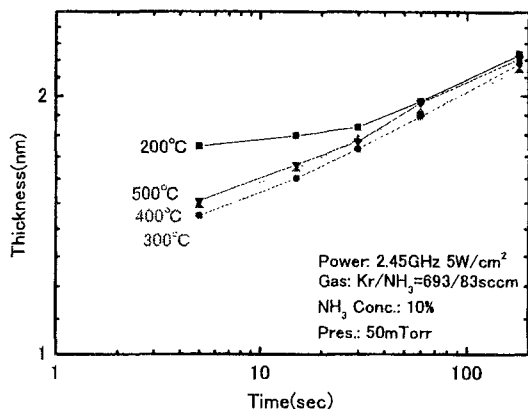


図1 シリコン窒化膜成膜レートの希ガス依存性

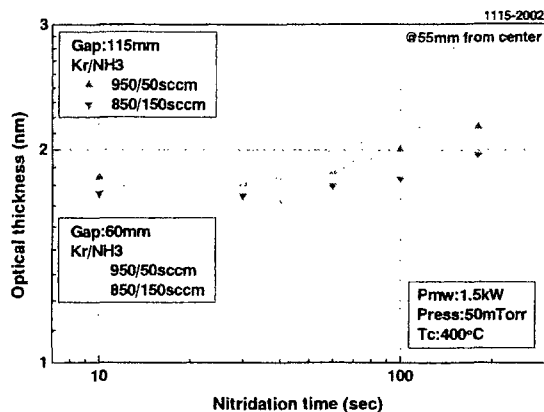


図2 シリコン窒化膜成長レートのマイクロ波放射アンテナウェーハ間距離依存性

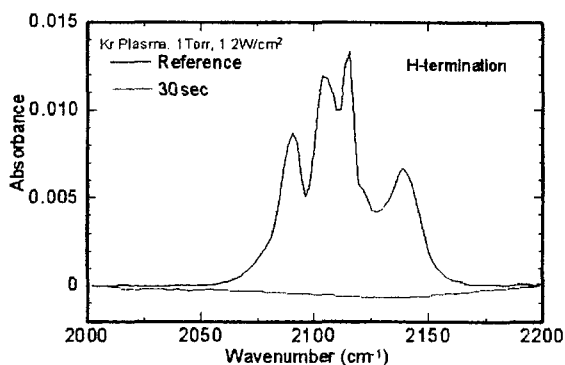


図3 シリコンウェーハ表面終端水素の FT-IR スペクトルの Kr プラズマ照射の有無依存性

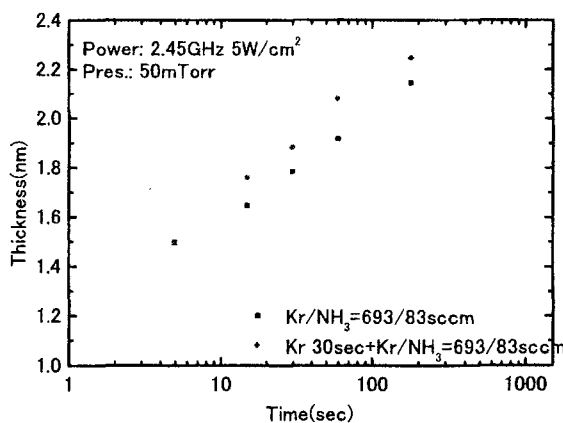


図4 シリコン窒化膜成長レートのシリコンウェーハ表面終端水素の有無依存性

第3章では、第2章で述べたシリコン窒化膜技術を用いて MIS キャパシタを作成しその電気的特性を明らかにしている。成膜温度を 500°C まであげることでリーク電流を低減し、絶縁膜破壊寿命を 1 桁以上向上した MIS キャパシタを実現することに成功している(図 7,8)。またシリコンウェーハ表面の終端水素を除去した後にゲートシリコン窒化膜を形成することで電荷注入絶縁膜破壊寿命を 1 桁以上向上した MIS キャパシタを実現することに成功している(図 9,10)。これは 70nm 世代の微細トランジスタを実現可能にする実用上重要な成果

である。

第4章は結論である。以上を要するに本論文は、70nm 世代の微細化世代まで適応できるマイクロ波励起高密度プラズマ装置による高品質なシリコン窒化膜の成膜方法とその物性およびそれをゲート絶縁膜に用いた MIS デバイスを初めて明らかにしたもので、半導体電子工学の発展に寄与することが少なくない。

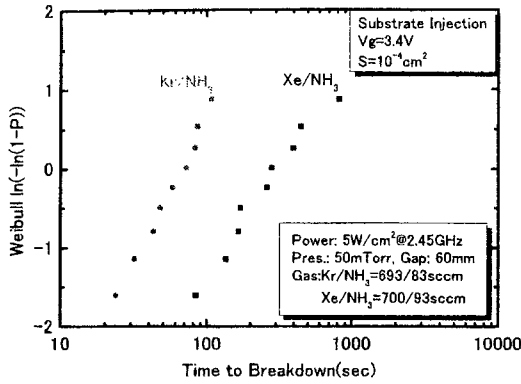


図5 TaNxゲートMNSキャパシタのTDDDB特性のプラズマ励起ガス(Kr, Xe)依存性

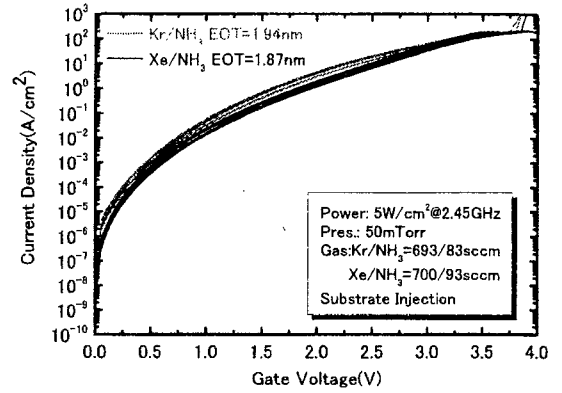


図6 TaNxゲートMNSキャパシタのJV特性のプラズマ励起ガス(Kr, Xe)依存性

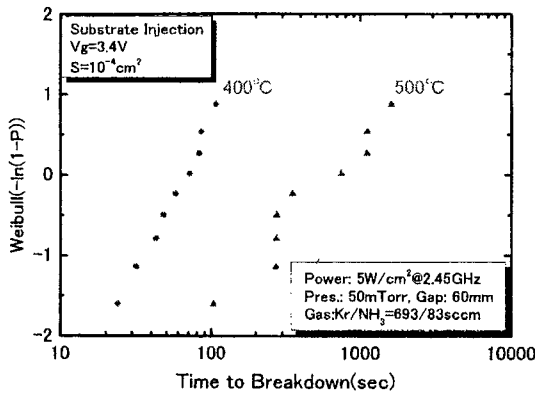


図7 TaNxゲートMNSキャパシタのTDDDB特性の成膜温度依存性

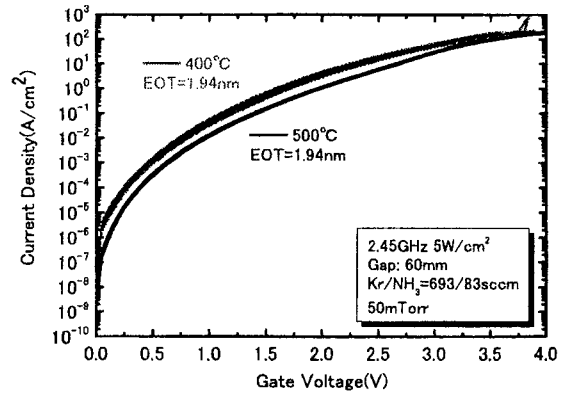


図8 TaNxゲートMNSキャパシタのJV特性の成膜温度依存性

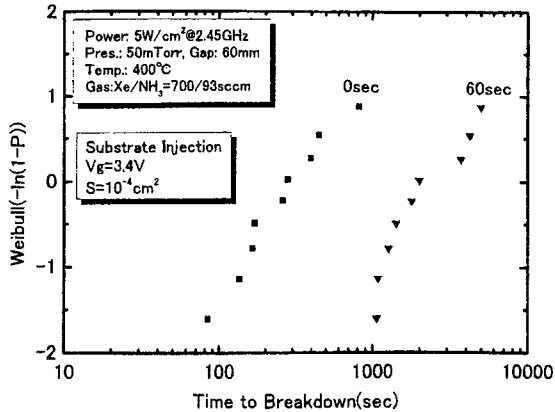


図9 TaNxゲートMNSキャパシタのTDDDB特性のXeプラズマ前照射の有無依存性

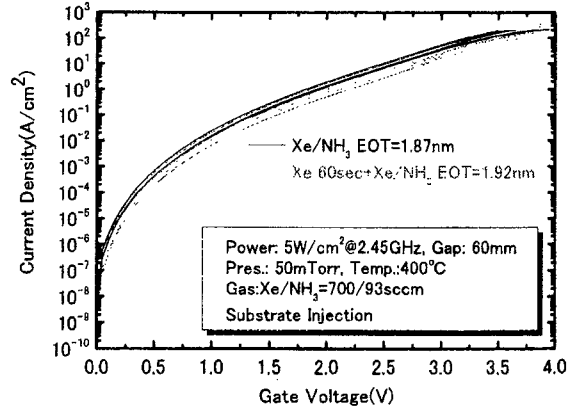


図10 TaNxゲートMNSキャパシタのJV特性のXeプラズマ前照射の有無依存性

論文審査結果の要旨

半導体集積回路を微細化し高性能化していく上でトランジスタのゲート絶縁膜の薄膜化が求められている。現在 $0.13\mu\text{m}$ の微細化世代でゲートシリコン酸化膜の厚さは 2nm まで薄膜化されているが、ゲートリーク電流を増加させずにさらにゲート絶縁膜を実効的に薄膜化していくためには信頼性が高く電気的特性に優れたシリコン酸化膜よりも誘電率の高い材料の開発が不可欠である。著者は、マイクロ波励起高密度プラズマ装置を用いてシリコンを直接窒化しシリコン酸化膜に比べ約2倍の誘電率を有し酸化膜換算膜厚が 1nm を下回る高品質なシリコン窒化膜を形成する技術を確立し、それを用いた微細トランジスタの性能を明らかにした。本論文は、これらの研究成果を取りまとめたもので、全文4章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、マイクロ波励起高密度プラズマ装置に各種希ガスとアンモニアの混合ガスを導入して温度、マイクロ波放射アンテナウェーハ間距離、シリコンウェーハ表面水素終端の有無などの成膜条件に関する系統的検討を行ない、シリコン窒化膜の成膜機構および基本物性を明らかにしている。プラズマを励起する希ガスとしては Ar、Kr、Xe の中で衝突断面積の最も大きい Xe を使用することでイオン照射損傷を抑制し高信頼性特性を有するシリコン窒化膜が形成できること、また、成膜したシリコン窒化膜中にはプラズマ励起に用いた希ガス原子が含まれ、この含有量を制御することによりシリコン窒化膜に加わる応力を緩和させ高信頼性を有するシリコン窒化膜を形成できることを明らかにしている。さらに希フッ酸洗浄後に形成されるシリコンウェーハ表面の終端水素層を希ガスプラズマ照射により除去してからシリコン窒化膜を成膜することでシリコン窒化膜中に混入する水素量を低減させることができ、より電気的特性の優れた信頼性の高いシリコン窒化膜が実現できることを見出している。さらにまたマイクロ波放射アンテナウェーハ間距離を制御することでシリコン基板表面に到達する窒化種 NH ラジカルの量を少なくし酸化膜換算膜厚 1nm 以下の薄いシリコン窒化膜を形成できる方法も明らかにしている。これは次世代の微細化世代に対応可能なゲート絶縁膜を形成する上で極めて重要な成果である。

第3章では、第2章で述べたシリコン窒化膜技術を用いてトランジスタを作成しその電気的特性を明らかにしている。成膜温度を 500°C まで上げて、プラズマ励起ガスとして Xe を使用し、シリコンウェーハ表面の終端水素を除去した後にゲートシリコン窒化膜を形成することでゲートリーク電流を1桁以上低減し、電荷注入耐圧および絶縁破壊寿命も1桁以上向上した MIS キャパシタを実現することに成功している。さらに以上の要素検討を総合し、シリコン酸化膜に比べ約2倍の誘電率を有し酸化膜換算膜厚 1nm を下回る高品質なシリコン窒化膜を用いた窒化膜ゲートトランジスタを形成し良好な電気的特性を実現している。これは 70nm 世代の微細トランジスタを実現可能にする実用上重要な成果である。

第4章は結論である。

以上要するに本論文は、 70nm の微細化世代まで適応できるマイクロ波励起高密度プラズマ装置による高品質なシリコン窒化膜の成膜方法とその物性およびそれをゲート絶縁膜に使用したトランジスタ性能を初めて明らかにしたもので、半導体電子工学の発展に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。